

پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه آبریز کرخه و رواناب ورودی به مخزن سد کرخه با استفاده از سناریوهای CMIP5-RCP

همایون مطیعی^۱*

فاطمه شیرخدایی^۲

امیررضا مطیعی^۳

چکیده

هدف این مقاله بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه آبریز سد کرخه می‌باشد و در این تحقیق از مدل‌های GCM تحت سناریوهای CMIP5-RCP استفاده گردید. با بررسی شاخص‌های خطای $RMSE$ ، R^2 و MAE مدل‌ها نسبت به داده‌های مشاهداتی بارش و دمای حوضه در دوره (۱۳۶۴-۱۳۸۳)، مدل MRI-CGCM3 به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد. برای پیش‌بینی دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۰) از خروجی‌های این مدل تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 استفاده گردید. با ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و دما کاهش بارش و افزایش دما به ترتیب به میزان ۲/۸ درصد و ۱ درجه تحت سناریوی RCP2.6 و ۶/۸ درصد و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ پیش‌بینی می‌شود. رواناب حوضه و جریان ورودی به مخزن سد کرخه با مدل بارش رواناب IHACRES شبیه‌سازی گردید. نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره مشابه نشان می‌دهد که کاهش رواناب به میزان ۱۰/۲ درصد با سناریوی RCP2.6 و ۲۰/۱ درصد با سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه وجود دارد. این نتایج نشان‌دهنده وضعیت نامناسبی از نظر تغییرات اقلیمی خواهد بود که سد کرخه با آن روبرو خواهد شد و بر تأمین آب موردنیاز کشاورزی و همچنین تأمین برق اثرات منفی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی:

تغییر اقلیم، مدل‌های GCM، سناریوهای CMIP5-RCP، مدل بارش رواناب IHACRES، حوضه آبریز کرخه

۱. نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، h_motiei@snu.ac.ir

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران آب، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران آب، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی

مقدمه

همکاران (۲۰۰۱) به بررسی عملکرد مخزن دریاچه فالسوم^۶ در کشور چین نسبت به سناریوهای اقلیمی گذشته و آینده پرداخته‌اند نتایج نشان‌دهنده این بود که ترکیب مدل‌های پیش‌بینی جریان و سیستم‌های تصمیم‌گیری تطبیقی عملکرد مخزن را بهبود می‌بخشد و نیز سیستم بهره‌برداری پویا استراتژی مناسب در مقابله با تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم است.

این تغییرات در مناطقی مانند ایران منجر به محدودیت منابع آب موجود و تشدید بحران‌های کم‌آبی می‌گردند. در ایران تقریباً اکثر تحقیقات انجام‌شده در حوزه مدل‌سازی تغییر اقلیم بر اساس داده‌های سری CMIP3 انجام‌شده است. آشفته و همکاران (۲۰۱۳) با میزان رواناب ورودی به مخزن سد آیدوغموش میانه در استان آذربایجان شرقی، در دو حالت پایه و تحت اثر تغییر اقلیم با مدل HadCAM و سناریوی A2 و با استفاده از مدل IHACRES شبیه‌سازی کردند، نتایج بهینه‌سازی نشان داد که قوانین عملکرد مخزن که در تغییر اقلیم نقش دارند منجر به بهبود ۲۹ تا ۳۲ درصدی عملکرد مخازن تحت اثر تغییر اقلیم نسبت به حالت پایه می‌شوند. نوری و مساح‌بوآنی (۱۳۹۶) تأثیر تغییر اقلیم را بر منحنی بهره‌برداری سد دز با استفاده از سناریوهای A1، A2 و A1B موردبررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که "علیرغم اصلاح منحنی فرمان باهدف حداقل میزان کمبودها، در شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی، شاخص تأمین آب کاهش می‌یابد که میزان این کاهش حدود ۱/۷ تا ۵/۷ درصد در شرایط رخداد سناریوهای A2، B1 و A1B است. کارآموز و همکاران (۱۳۸۸) نیز به تدوین الگوی بهره‌برداری از مخزن سد ستارخان با در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم پرداختند. در این تحقیق به کمک مدل HadCM3 و نیز مدل آماری SDSM بارش و دما ریزمقیاس شده برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی شد.

جمالی و همکاران (۲۰۱۳) تحقیقی بر حوضه آبریز کرخه با استفاده از مدل‌های CGCM3 و HadCM3 در قالب سناریو

پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در مدیریت منابع آب و انرژی شناخته‌شده است. بر اساس آخرین گزارش سازمان هواشناسی جهانی (WMO، ۲۰۱۹)، دوره چهار ساله ۲۰۱۴-۲۰۱۸ یکی از گرم‌ترین ادوار جهان بوده است. همچنین بر اساس گزارش تحقیقاتی ناسا^۷ (۲۰۱۹)، گرمایش جهانی به‌قدری تشدید شده است که در تابستان ۲۰۱۹ در قطب شمال و گرینلند تنها در طی یک روز ۱۱ میلیارد مترمکعب یخ ذوب شده است. بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام‌شده و در حال انجام در زمینه آب و انرژی از دهه آخر قرن بیستم تاکنون معطوف به بررسی این پدیده و اثرات آن بوده است (IPCC، ۲۰۱۸). بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه در چند دهه اخیر نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم تأثیر قابل‌توجهی بر وضعیت بارش و دما و پارامترهای متأثر از آن‌ها همچون رواناب و رطوبت خاک داشته است (زیشیشلر و همکاران^۸، ۲۰۱۸؛ اونیل^۹ و همکاران، ۲۰۱۷). در یک تحقیق توسط سان^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۹) میزان عدم قطعیت را بر روی رواناب با استفاده از ده مدل گروه CMIP5 در چین مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیده‌اند که داده‌های مورد استفاده و فاکتورهای به‌کاررفته در مدل‌ها اهمیت زیادی در محاسبات رواناب دارند.

فنج^{۱۱} (۲۰۱۴) با استفاده از ۱۲ مدل گردش عمومی جو از گزارش پنجم IPCC تغییر در رژیم‌های آب‌وهوایی را موردبررسی قرار داد. با توجه به سناریو RCP8.5 مدل‌ها ۳ تا ۱۰ درجه افزایش دما تا پایان قرن بیست و یکم را پیش‌بینی کرده‌اند.

سو و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۶) در حوضه رودخانه اینداس (Indus river) در چین با استفاده از خروجی‌های ۱۱ مدل‌های گردش عمومی جو^{۱۳} (GCM) اثرات تغییر اقلیم با سناریوهای CMIP5 برای مدل‌های انتخاب‌شده برای دو بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بررسی کردند که نتایج حاصل نشان‌دهنده افزایش دما و بارش و به‌تبع آن افزایش احتمال وقوع سیل در حوضه هستند. یا^{۱۴} و

۶. Su et al.

۷. Global Circulation Models

۸. Ya et al.

۹. Falsom

۱۰. NASA

۱۱. Zscheischler et al.

۱۲. O'Neill et al.

۱۳. Sun et al.

۱۴. Feng

دانشمندان و محققین برای درک واقعی اثرات جهانی و منطقه‌ای گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب از ضروریات برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب کشورها، به‌ویژه کشورهای نیمکره شمالی از جمله ایران، است و بدین ترتیب نیاز به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مخازن سدها و مشاهده عملکرد مخازن احساس می‌شود تا با اتخاذ سیاست‌هایی از افت عملکرد مخازن تحت تأثیر تغییر اقلیم جلوگیری شود.

هدف این تحقیق بررسی وضعیت اقلیمی حوضه آبریز سد کرخه شامل بارش و دما و همچنین تأثیر آن بر رواناب ورودی به سد کرخه در طی دهه‌های آینده با استفاده از مدل‌های گردش عمومی GCM تحت سناریوهای CMIP5 است. استفاده از مدل‌ها و سناریوهای جدید CMIP5 در این حوضه نشان‌دهنده نوآوری این تحقیق می‌باشد که در مقالات و تحقیقات اشاره شده در مقدمه از آنان استفاده نگردیده است.

های CMIP3 شامل A1B، A2 و B1 انجام دادند و نتیجه گیری کردند که در بلندمدت با افزایش دما و کاهش بارندگی، رواناب این حوضه در حدود ۲۵٪ تا ۳۲٪ کاهش پیدا می‌کند.

اشرف واقفی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی که با استفاده از مدل CGM3 کانادا و سناریوهای A1B، A2 و B1 برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ انجام دادند نتیجه‌گیری کردند که در بخش جنوبی حوضه آبریز کرخه میزان دسترسی به آب شیرین تا ۴۴٪ کاهش خواهد یافت و متقابلاً بر کاهش تولید گندم این منطقه تأثیرات زیادی خواهد داشت.

ناصری و همکاران (۲۰۱۷) نیز در یک تحقیق که بر روی سه زیر حوضه آبریز کرخه با استفاده از مدل HadCM3 و مجدداً با سناریوهای A2 و B2 انجام شد و تلاش کردند که از نتایج این مدل و به کمک برخی از روش‌های داده‌کاوی از قبیل مدل درختی، رگرسیون چند متغیره و روش گروهی پردازش داده‌ها برای شبیه‌سازی جریان‌های آینده در حوضه آبریز استفاده نمایند.

همان‌طور که نشان داده شد تحقیقات بر روی منابع آب و بخصوص دریاچه‌ها و مخازن سدها از جمله تلاش‌های

مواد و روش‌ها

مدل‌های مورد استفاده

می‌باشد و دو سناریوی دیگر حالت بینابینی دارند. در این تحقیق از ۲۱ مدل موجود GCM که تحت سناریوهای CMIP5 می‌باشند استفاده گردید که معروف‌ترین این مدل‌ها عبارتند از: گروه مدل‌های GFDL (آمریکا)، GISS (آمریکا)، CanESM2 (کانادا)، MIROC (ژاپن)، CESM1 (آمریکا)، HadGEM (انگلیس)، CSIRO (استرالیا) و MPI (آلمان). مدل‌های GCM در بسیاری از مراجع تغییر اقلیم مانند (IPCC، ۲۰۱۳) توضیح داده شده‌اند.

مدل بارش-رواناب IHACRES

از میان انواع مختلف مدل‌های بارش - رواناب، مدل‌های مفهومی که با استفاده از مفاهیم موجود در سیستم‌های هیدرولوژیکی و روابط ریاضی، ساختار ساده‌شده‌ای از واقعیت ارائه می‌دهند کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. این مدل‌ها مبتنی بر پارامترهایی هستند که برای اطمینان به نتایج و شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت، کالیبراسیون (واسنجی) باید انجام گیرد تا این پارامترها با دقت خوبی به دست آیند.

در حال حاضر یکی از معتبرترین ابزارها برای تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه‌بعدی جفت‌شده گردش عمومی جو-اقیانوس می‌باشد. مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌های مبتنی بر الگوریتم‌های ریاضی می‌باشند که می‌توانند به شبیه‌سازی آب‌وهوایی جهان بپردازند. هدف مدل‌های GCM محاسبه شاخص‌های سه‌بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است قدرت تفکیک افقی مدل‌های GCM بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر و قدرت تفکیک عمودی ۱۰ تا ۳۰ متر است. در تهیه گزارش پنجم که به‌تدریج از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ منتشر شد، از برون‌داد مدل‌های جدید گزارش پنجم به نام CMIP5 استفاده گردید. این مدل‌ها از سناریوهای جدید RCP (شامل RCP ۲.6؛ ۴.5؛ ۶ و ۸.5) استفاده می‌کنند که اعداد ذکر شده نشان‌دهنده وات بر هر مترمربع تابش انرژی خورشید است. سناریوی RCP2.6 نشان‌دهنده خوش‌بینانه‌ترین و سناریوی RCP8.5 نشان‌دهنده بدبینانه‌ترین میزان انتشار

محدودیت‌هایی همراه است. به‌عنوان مثال اخیراً نسخه ۶ مدل LARS-WG با محدودیت فقط ۵ مدل خانواده CMIP5 انتشار یافته است (مطیعی و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین برای تمامی مدل‌های خانواده CMIP5 مدل SDSM نمی‌تواند ریزمقیاس نمایی را انجام دهد و مدل کانادایی CanESM2 داده‌ها را فقط برای کانادا در اختیار کاربر قرار می‌دهد. به همین دلیل برای اینکه بتوان تمامی مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق را ریزمقیاس نمایی نمود در این تحقیق از روش فاکتور تغییر استفاده گردید.

نحوه استفاده از روش فاکتور تغییر به‌صورت زیر است: در روش فاکتور تغییر برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل متوسط درازمدت هر ماه در دوره آتی و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل، ضرایب دلتا برای دما و بارش از روابط زیر، محاسبه می‌گردند (اناندی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\Delta T_i = (\overline{T}_{GCM, fut. i} - T_{GCM, base. i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\overline{P}_{GCM, fut. i}}{\overline{P}_{GCM, base. i}} \right) \quad (2)$$

سپس برای به دست آوردن دما و بارش ماهانه آتی، با استفاده از ضرایب دلتای به‌دست‌آمده، دما و بارش هرماه محاسبه می‌شوند.

$$T = T_{obs} + \Delta T \quad (3)$$

$$P = P_{obs} \times \Delta P \quad (4)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر ضرایب دلتای سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارش برای میانگین درازمدت n ساله برای هرماه، $\overline{T}_{GCM, fut. i}$ میانگین n ساله دمای شبیه‌سازی شده در دوره آتی برای هرماه، $\overline{T}_{GCM, base. i}$ میانگین n ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هرماه است، برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد. در

IHACREC یک مدل بارش - رواناب مفهومی در مقیاس حوضه‌های بزرگ، است که با همکاری مؤسسه هیدرولوژی انگلیس با مرکز مطالعات منابع و محیط زیست دانشگاه ملی استرالیا به وجود آمده است. فرآیند مدل‌سازی IHACRES به دو مدل "غیرخطی تلفات" و "خطی" (هیدروگراف واحد) است که اولی بارش را به بارش مؤثر و دومی بارش مؤثر را به رواناب تبدیل می‌کند (جکمن و هورنبرگر^۱، ۱۹۹۳، کروک^۲ و همکاران ۲۰۰۵).

پارامترهای مهمی که در واسنجی باید تعیین شوند عبارتند از پارامترهای تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در مدل غیرخطی تلفات شامل f , T_r و C به ترتیب مربوط به نرخ خشک بودن حوضه، فاکتور تعدیل دما، دمای مرجع و ضریب یکسان نمودن حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره کالیبراسیون می‌باشند. همچنین دو پارامتر دیگر a و b در مدل خطی هیدروگراف رواناب پارامتر $b < 1$ نشان‌دهنده b واحد رواناب تولیدی از یک بارندگی مؤثر و پارامتر $0 < a < 1$ نشان‌دهنده میزان رواناب تولیدی در مرحله بعد ناشی از رواناب مرحله قبل است. مقالات متعددی از کاربرد این مدل به دلیل ساختار نسبتاً ساده بخصوص در شرایط تغییر اقلیم به چاپ رسیده است که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول آن است (ابوشاندی و مرکل^۳، ۲۰۱۳، خیر فام و همکاران ۲۰۱۳).

ریزمقیاس نمایی^۴

تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM ریزمقیاس نمایی گفته می‌شود. محققان بسیاری به بررسی روش‌های مختلف در توسعه روش‌های کاهش مقیاس پارامترهای جوی به‌منظور تخمین مقادیر بارش و دما در آینده با روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری پرداخته‌اند. (منداس^۵ و همکاران، ۲۰۱۰، وانگ^۶ و همکاران ۲۰۱۲). از جمله روش‌های ریزمقیاس نمایی می‌توان به روش فاکتور تغییر^۷، LARS-WG و SDSM اشاره کرد که دو روش آخری به‌صورت نرم‌افزاری می‌باشند.

با توجه به جدید بودن مدل‌های خانواده CMIP5 استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM با

۵. Mendes et al.

۶. Wang et al.

۷. Change Factor (CF)

۸. Anandhi et al.

۱. Jakman and Hornberger

۲. Croke et al.

۳. Abushandi and Merkel

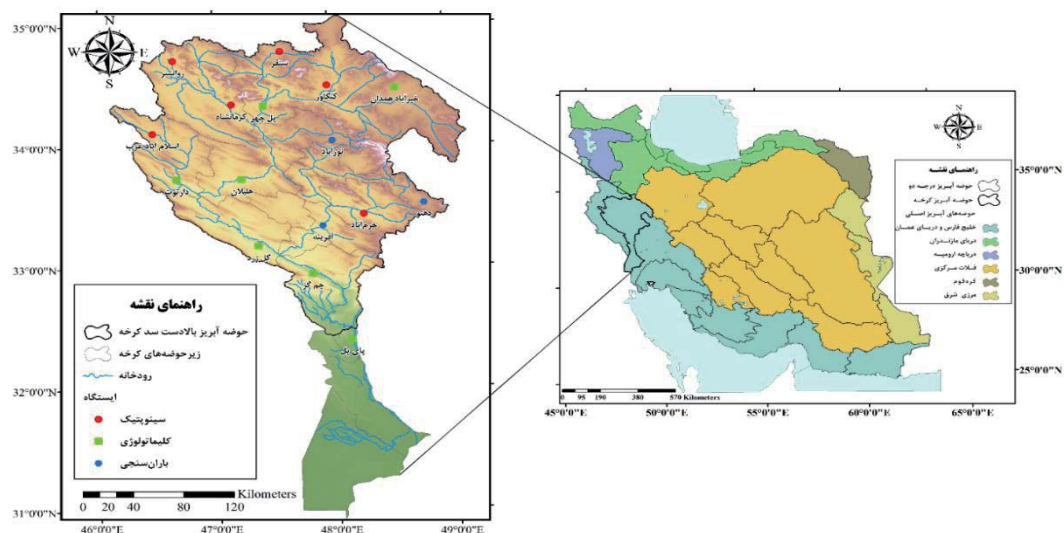
۴. Downscaling

۱۵/۳ درجه سلسیوس بوده که از حدود ۲۵ درجه سلسیوس در مناطق جنوبی تا حدود ۳ درجه سلسیوس در ارتفاعات و مناطق کوهستانی متغیر است. شکل ۱ نشان دهنده حوضه آبریز سد کرخه می‌باشد. سد کرخه یکی از بزرگ‌ترین سدهای خاکی دنیا و بزرگ‌ترین سد خاکی در ایران و خاورمیانه بوده که حجم دریاچه آن در حدود ۷ میلیارد مترمکعب بوده که می‌تواند آب زراعی بیش از ۳۰۰۰۰۰ هکتار اراضی پایین دست را تامین کند. در دهه اخیر حجم اب دریاچه بعثت خشکسالی و برداشت غیر مجاز رودخانه بالادست از حد ۲/۵ میلیارد متر مکعب بیشتر نگردید و با توجه به روند کاهشی ورودی‌های جریان به مخزن در دهه اخیر، وضعیت آینده بهره برداری از این سد باعث نگرانی مدیران بهره‌بردار می‌باشد.

رابطه (۳) Tobs بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه، T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما در دوره آتی و ΔT سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس شده می‌باشد. در رابطه (۴) برای بارندگی نیز موارد ذکرشده برقرار است.

مشخصات حوضه آبریز کرخه

حوضه آبریز کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس و از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۶ درجه و شش دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه عرض شمالی واقع گردیده است. بارندگی سالانه منطقه از ۲۹۲ میلی‌متر در بخش‌های جنوبی و کم ارتفاع تا حدود ۱۹۹۰ میلی‌متر در بخش‌های کوهستانی و مرتفع متغیر است. میانگین دمای سالانه در کل محدوده مطالعاتی حدود



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز کرخه و ایستگاه‌های هواشناسی

جدول (۱): مشخصات مخزن سد کرخه

۲۲۰	رقوم نرمال مخزن (متر از سطح دریا)
۱۶۰	رقوم کمینه مخزن (متر از سطح دریا)
۵۳۴۶/۸	حجم مخزن در رقوم نرمال (میلیون مترمکعب)
۴۳۰	حجم مخزن در رقوم کمینه (میلیون مترمکعب)
۱۶۲/۵	مساحت دریاچه در رقوم نرمال مخزن (کیلومتر مربع)

اگر داده‌ها از یک منطق نرمال پیروی نکنند در آن صورت داده‌های پرت و یا خالی در آن‌ها وجود دارد. برای تصحیح داده‌ها در نرم‌افزار SPSS از فرض توزیع نرمال داده‌ها و محاسبه ضریب چولگی استفاده گردید و تلاش گردید که با حذف داده‌های پرت و تکمیل کردن داده‌های خالی توزیع نرمال در داده‌ها ایجاد گردد. توضیحات بیشتر در مورد نرمال‌سازی داده‌ها در راهنمای SPSS تشریح شده است (SPSS, 2004).

با توجه به وسعت زیاد حوضه آبریز کرخه برای محاسبه بارش متوسط حوضه از داده‌های ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک (Synoptic) استفاده شده است. میانگین بارش سالانه در سطح حوضه ۴۲۹ میلی‌متر است که پرباران‌ترین ماه‌ها مربوط به ماه‌های دسامبر و مارس (آذر و اسفند) است. برای به دست آوردن متوسط بارش حوضه، از میانگین وزنی ایستگاه‌های منتخب حوضه استفاده شده است. بدین صورت که برای هر ایستگاه با توجه به مساحت مربوط به آن که از تیسن بندی (Thiessen) به دست آمده نسبت به مساحت کل حوضه وزنی در نظر گرفته شده است. میانگین بلندمدت بارش متوسط ماهانه و ایستگاه‌های منتخب در محدوده حوضه در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.

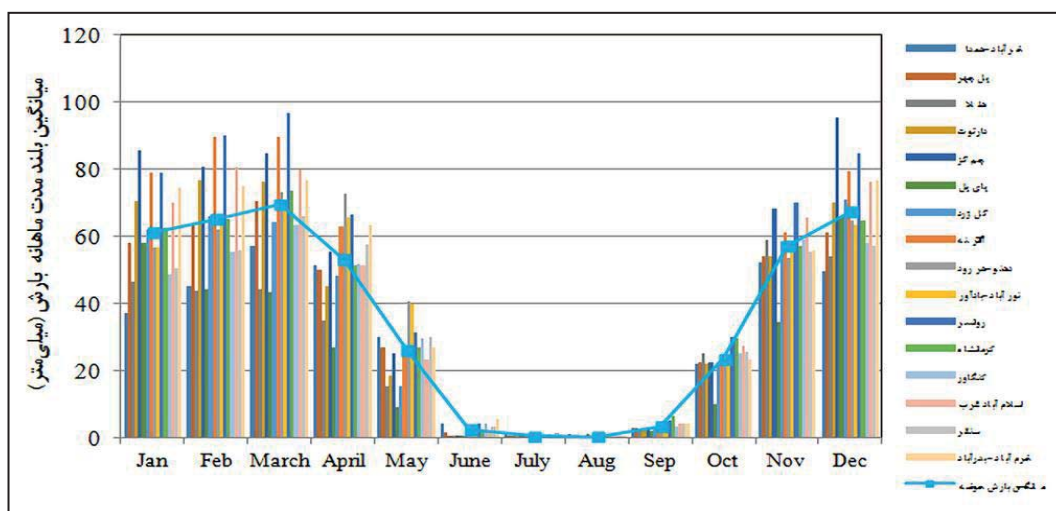
داده‌های بارش، دما و رواناب مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های مشاهداتی و داده‌های آتی مدل‌های GCM می‌باشند که در ذیل توضیح داده شده‌اند:

الف) داده‌های مدل‌های GCM: این داده‌ها برای مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق از سایت IPCC استخراج گردیدند.

ب) داده‌های مشاهداتی: در مطالعات تغییر اقلیم یک دوره ۳۰ ساله جهت استخراج داده‌های مشاهداتی انتخاب می‌گردد که در این تحقیق بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ به عنوان دوره پایه و در مقیاس ماهانه تعیین گردید و داده‌های بارش، دما و رواناب ماهانه ایستگاه‌های منتخب حوضه کرخه از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه گردید. این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار تخصصی آمار SPSS تصحیح و تکمیل شدند. لازم به توضیح است که در داده‌های طولانی مدت امکان دو نوع خطا در داده‌ها وجود دارد:

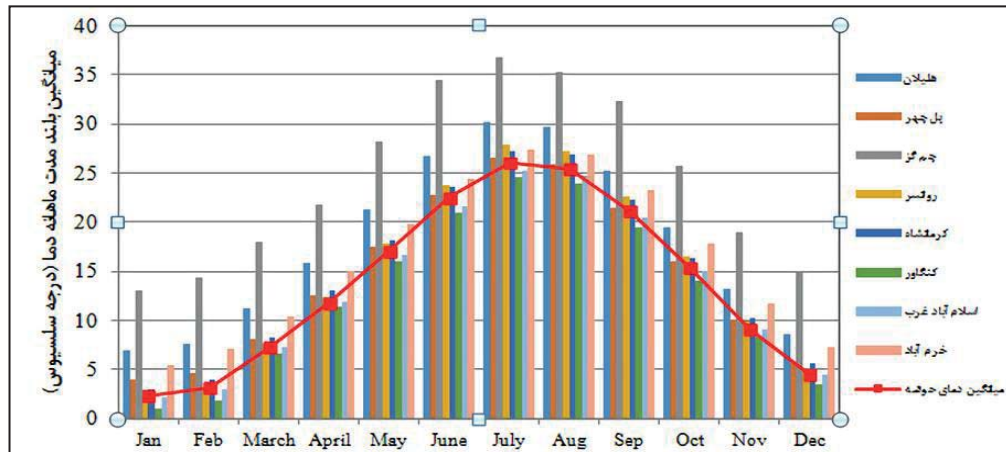
۱- داده‌های پرت: در اثر اشتباه در تایپ داده‌ها چه در زمان ورود آن‌ها به محیط اکسل و یا SPSS و چه در زمان استخراج از دستگاه‌های اندازه‌گیری. داده‌های پرت مقادیری بسیار بزرگ‌تر و یا بسیار کوچک‌تر از حد معمول هستند. داده‌های پرت می‌توانند ارتباط بین دو متغیر را ضعیف کنند و اغتشاش در نتایج به وجود آورند.

۲- امکان خالی بودن داده‌ها: در بعضی از پریودهای زمانی (ماه یا سال) و زمان‌های اندازه‌گیری.



شکل (۲): میانگین بلندمدت بارش متوسط و ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز کرخه

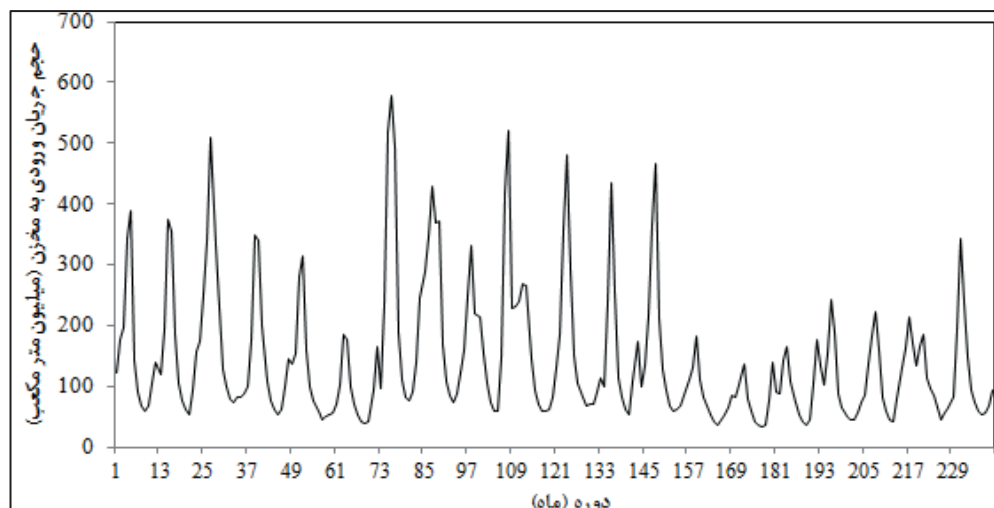
برای محاسبه دمای متوسط حوضه از داده‌های ۸ ایستگاه
 کليماتولوژی (Climatology) و سینوپتیک استفاده شده
 است.
 بدین‌صورت که بر اساس گرادیان دما و ارتفاع
 ایستگاه‌های منتخب نسبت به ارتفاع متوسط حوضه
 داده‌های دمای متوسط حوضه به‌دست‌آمده است (شکل
 ۳).((۳)



شکل (۳): میانگین بلندمدت ماهانه دمای متوسط حوضه

رواناب

به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های آتی از داده‌های
 رواناب ورودی به مخزن سد کرخه استفاده شده است که
 از شرکت مدیریت منابع آب تهیه شده است. سری
 زمانی جریان ورودی به مخزن سد کرخه در دوره مشاهداتی،
 سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۶۴ در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴): سری زمانی جریان ورودی به مخزن سد کرخه در دوره مشاهداتی (۱۳۶۴-۱۳۸۳)

جدول (۲): میانگین ۲۰ ساله ماهانه رواناب ورودی به مخزن سد کرخه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	اکتبر
متوسط جریان (MCM)	۱۴۳,۰۴	۱۸۵	۲۷۹,۳	۲۹۷,۵۶	۲۱۲,۳۶	۱۱,۰۷	۷۸,۴۹	۶۱,۹۸	۵۳,۹۹	۶۸,۴۷	۱۰۹,۲	۱۴۰,۸

در جدول (۲) میانگین ۲۰ ساله ماهانه رواناب ورودی به مخزن سد کرخه نشان داده شده است.

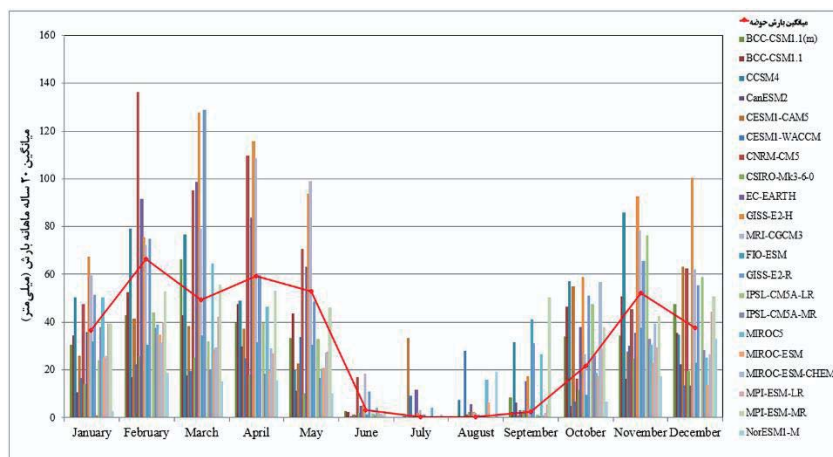
نتایج و بحث

بررسی عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی

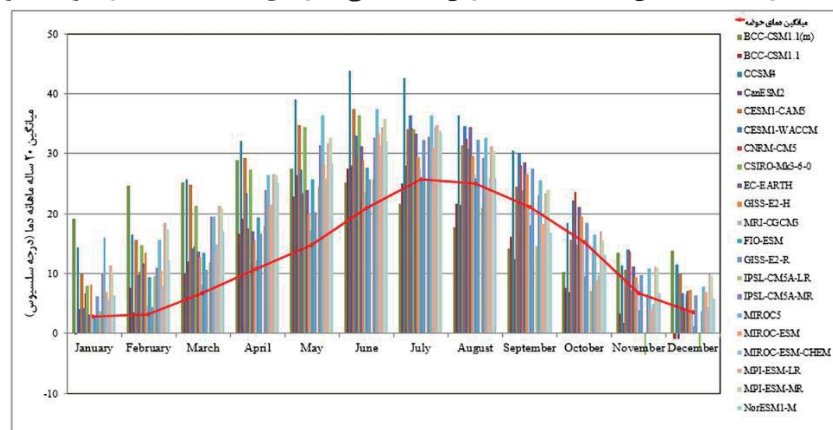
بارش و دمای حوضه کرخه در دوره پایه

به منظور بررسی عملکرد ۲۱ مدل‌های GCM از سناریو های CMIP5 در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دمای حوضه می‌بایست مقادیر بارش و دمای شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها در دوره پایه با مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه مقایسه گردند. با توجه به موجود بودن داده‌های بارش و دمای منطقه حوضه آبریز کرخه در همه ایستگاه‌ها، دوره ۱۳۸۳-۱۳۶۴ که بین

تمامی ایستگاه‌ها مشترک بود به عنوان دوره مشاهداتی پایه انتخاب گردید. داده‌های ماهانه بارش و دمای مدل‌های منتخب GCM در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ (معادل ۱۳۶۴-۱۳۸۳) از مرکز پایگاه داده IPCC مربوط به سلول محاسباتی که ایستگاه‌های منتخب حوضه در آن واقع می‌شوند استخراج گردید. سپس میانگین ۲۰ ساله ماهانه بارش و دمای محاسبه گردید. در نهایت این مقادیر با میانگین ۲۰ ساله ماهانه بارش و دمای مشاهداتی متوسط حوضه در دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌های (۵) و (۶) مقایسه بین میانگین ۲۰ ساله ماهانه بارش و دمای مشاهداتی و مدل‌های GCM را در دوره پایه نشان می‌دهد.



شکل (۵): میانگین ۲۰ ساله ماهانه بارش مشاهداتی مدل‌های منتخب GCM و متوسط حوضه



شکل (۶): میانگین ۲۰ ساله ماهانه دمای مشاهداتی مدل‌های منتخب GCM و متوسط حوضه

در ادامه به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی معیارهای عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی داده‌های متغیرهای اقلیمی منطقه از معیارهای عملکرد ضریب بارش و دما منطقه، نسبت به داده‌های مشاهداتی متوسط تعیین^۱ (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و حوضه را نشان می‌دهد. متوسط خطای مطلق^۳ (MAE) استفاده شد. جدول (۳)

جدول (۳): شاخص‌های عملکرد مدل‌های مختلف GCM نسبت به داده‌های مشاهداتی بارش و دما متوسط حوضه

دما			بارش			نام مدل
MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2	
۱۳,۴	۱۸,۵	۰,۹۲	-۱۰,۱	۱۷,۱	۰,۸۴	BCC-CSM1.1
۰,۱	۵,۱	۰,۷۱	-۱۱,۲	۲۰,۶	۰,۶۹	BCC.CSM1.1(m)
۰,۶	۶,۴	۰,۶۱	-۲۸,۱	۳۶,۲	۰,۷۰	CanESM2
۱۳,۹	۱۵,۴	۰,۶۷	۱,۵	۲۱,۲	۰,۵۵	CCSM4
۱۰,۲	۱۲	۰,۵۸	-۱۰,۶	۲۸,۱	۰,۷۲	CESM1-CAM5
۸,۳	۹,۱	۰,۹۴	-۲۲,۲	۳۳,۳	۰,۴۰	CESM1-WACCM
۶,۸	۷,۲	۰,۹۶	۱۰,۹	۲۲,۸	۰,۸۴	CNRM-CM5
۸,۶	۱۰,۸	۰,۶۳	-۲۶,۴	۳۴,۶	۰,۸۰	CSIRO-Mk3-6-0
۶,۷	۷,۲	۰,۹۶	۱,۹	۱۸,۴	۰,۷۰	EC-EARTH
۲,۲	۵,۶	۰,۶۹	-۱۶,۹	۲۸,۶	۰,۴۴	FIO-ESM
۵,۴	۵,۷	۰,۹۴	۲۳,۸	۳۲,۱	۰,۸۰	GISS-E2-H
۴,۵	۴,۸	۰,۹۹	۸,۸	۲۳,۵	۰,۶۰	GISS-E2-R
-۰,۱۰	۶,۵	۰,۵۸	-۹,۶	۲۲,۱	۰,۵۷	IPSL-CM5A-LR
۶,۸	۸,۹	۰,۶۸	-۲۱,۲	۲۹,۹	۰,۶۱	IPSL-CM5A-MR
۱۰,۴	۱۲	۰,۶۶	-۱۰,۶	۲۴,۷	۰,۴۶	MIROC5
۴,۳۰	۷,۵	۰,۶۱	-۲۳,۴	۳۱,۳	۰,۸۲	MIROC-ESM
۳,۸	۷,۱	۰,۶۶	-۱۷	۲۸,۱	۰,۴۶	MIROC-ESM-CHEM
۹,۶	۱۱	۰,۶۶	-۱۵,۷	۲۴,۵	۰,۶۸	MPI-ESM-LR
۹,۳	۱۰,۹	۰,۶۴	-۳,۵	۱۹,۸	۰,۵۹	MPI-ESM-MR
۲,۲	۲,۴	۰,۹۹	۱۱,۶	۱۷,۳	۰,۹۰	MRI-CGCM3
۵,۶	۸,۳	۰,۶۱	-۲۷,۸	۳۸,۵	۰,۲۶	NorESM1-M

RMSE بین ۱۷/۱ و ۳۸/۵ متغیر است. بیشترین مقدار R^2 در شبیه‌سازی دما مربوط به مدل GISS-E2-R و در شبیه‌سازی بارش مربوط به مدل MRI-CGCM3 است. همچنین کمترین مقدار خطای RMSE و MAE در شبیه‌سازی دما به ترتیب مربوط به مدل‌های MRI-CGCM3 و

در شبیه‌سازی مقادیر دما برای مدل‌های GCM مورد مطالعه مقدار R^2 بین ۵۷/۸٪ و ۹۹٪ و مقدار خطای RMSE بین ۲/۴ و ۱۸/۵ متغیر است. همچنین در شبیه‌سازی مقادیر بارش برای مدل‌های GCM مورد مطالعه مقدار R^2 بین ۲۵/۸٪ و ۸۹/۸٪ و مقدار خطای

۳. Mean Absolute Error

۱. Coefficient of Determination

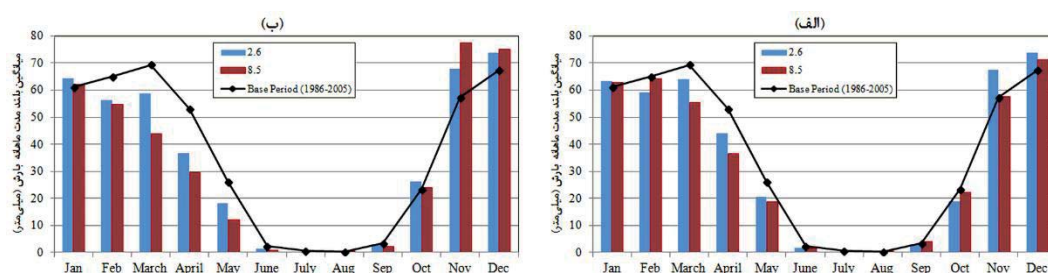
۲. Root Mean Square Error

از خروجی‌های این مدل تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 استفاده گردید.

نتایج ریزمقیاس نمایی شده

ریزمقیاس داده‌های بارش و دمای مدل MRI-CGCM3 در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۴) و (۲۰۴۰-۲۰۶۰) تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 و RCP8.5 برای حوضه آبریز کرخه و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) با استفاده از روش عامل تغییر انجام گردید. شکل‌های ۷ و ۸ نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.

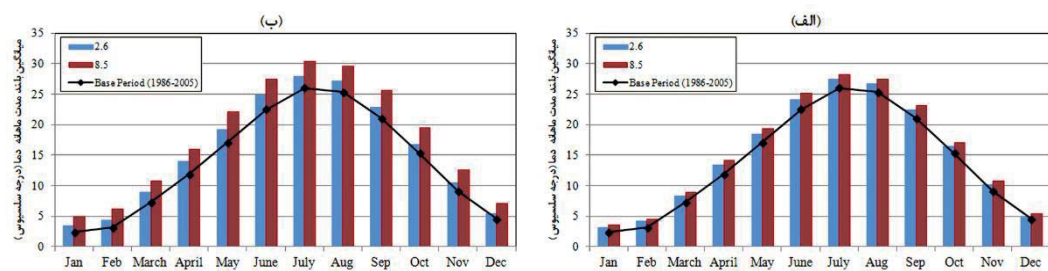
BCC-CSM1.1(m) و در شبیه‌سازی بارش به ترتیب مربوط به مدل‌های BCC-CSM1.1 و (MRI-CGCM3) و CCSM4 است. از این‌رو مدل MRI-CGCM3 را به‌عنوان مدلی که مقادیر بارش و دما را با شاخص‌های عملکرد مطلوب برای این حوضه شبیه‌سازی می‌کند به‌عنوان مدل GCM بهینه که خروجی‌های آن کمترین خطا را داشته و قطعیت نتایج آن بیشتر است برای شبیه‌سازی آینده انتخاب گردید. در نتیجه برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب حوضه آبریز کرخه و بهره‌برداری از مخزن سد کرخه در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و (۲۰۴۰-۲۰۶۰)



شکل (۷): نتایج ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش در دوره‌های آتی (الف) ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و (ب) ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه

RCP8.5 به ترتیب ۵/۶۶٪، ۲۷/۱۶٪، ۱/۳٪ و ۱/۲٪ می‌باشند. همچنین این تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۴/۷٪، ۱۸/۵۴٪، ۲۳/۴٪ و ۸/۱٪، و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۶/۶۶٪، ۳۰/۶٪، ۲۴/۶٪ و ۱/۸٪ می‌باشند. در این میان برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ فقط در فصل‌های تابستان و پاییز سناریوی RCP8.5 و فصل پاییز سناریوی RCP2.6 برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ فقط در فصل پاییز سناریوی RCP8.5 و سناریوی RCP2.6 افزایش بارش نشان داده شده است و در دیگر فصول دو دوره تحت دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6 کاهش بارش نسبت به دوره پایه وجود دارد.

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود حوضه آبریز کرخه شاهد کاهش بارش به میزان ۲/۸ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۶/۸ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (شکل الف) و همچنین به میزان ۳/۱ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۸/۲ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه (شکل ب) است. این تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۳/۸٪، ۱۵/۵٪، ۱۹/۸٪ و ۶/۲٪، و تحت سناریوی



شکل (۸): نتایج ریزمقیاس نمایی داده‌های دما در دوره‌های آتی (الف) ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و (ب) ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه

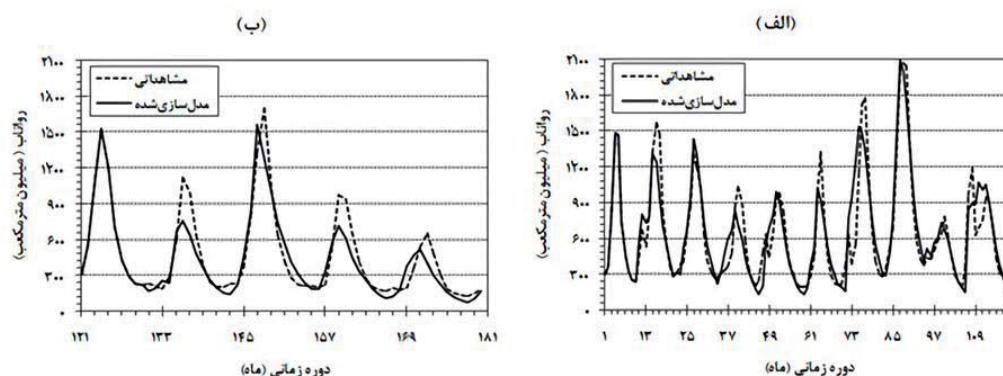
ترتیب ۱/۱۵، ۲/۱، ۱/۸۵ و ۱/۲ می‌باشند. همچنین این تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۰/۹۷، ۱/۵۴، ۱/۴۲ و ۰/۸۹ درجه سلسیوس، و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱/۳۷، ۲/۳۹، ۲/۰۵ و ۱/۴۶ می‌باشند. در این میان کمترین افزایش دما در هر دو دوره آینده تحت سناریوی RCP2.6 مربوط به فصل پاییز و تحت سناریوی RCP8.5 مربوط به فصل زمستان بوده و بیشترین افزایش دما در هر دو دوره آینده تحت دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6 مربوط به فصل بهار است.

همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، به‌طور کلی حوضه دارای افزایش دمایی به میزان ۱ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP2.6 و ۱/۵ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه و همچنین افزایش دمایی به میزان ۱/۲ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP2.6 و ۱/۸ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه خواهد بود. این افزایش دما در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۳، ۱/۳۲ و ۰/۷۵ درجه سلسیوس، و تحت سناریوی RCP8.5 به

شبیه‌سازی بارش - رواناب

بدین ترتیب داده‌های میانگین ماهانه بارش و دمای متوسط حوضه و رواناب ورودی به مخزن کرخه در دوره ۱۹۹۹-۱۹۸۶ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۵ برای صحت-سنجی در مدل IHACRES مورد استفاده قرار گرفت. با واسنجی مدل در دوره مذکور، سه پارامتر f ، τ_w و C از مدول غیرخطی افت برابر با ۳، ۱/۲۲ و ۰/۰۰۸۷ به دست آمدند. شکل‌های (۹) و (۱۰) عملکرد مدل برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهند.

در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب حوضه آبریز کرخه و جریان ورودی به مخزن سد کرخه از مدل بارش رواناب IHACRES استفاده می‌شود. در ابتدا به‌منظور انتخاب دوره مناسب واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES برای کمینه نمودن خطای شبیه‌سازی، نوسانات سالانه بارش حوضه و متوسط بلندمدت آن مقایسه و دوره مناسب بر اساس بالاترین ضریب تعیین (R^2) و پایین‌ترین شاخص‌های خطا (MAE و $RMSE$) بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، انتخاب گردید.

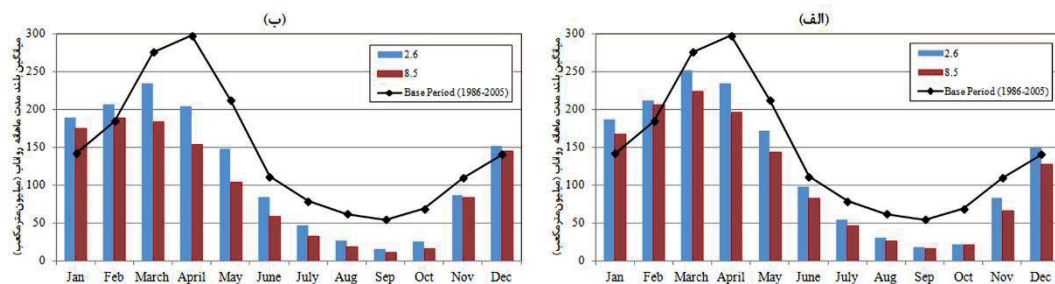


شکل (۹): سری زمانی رواناب مشاهداتی و مدل‌سازی‌شده IHACRES در دوره‌های (الف) واسنجی و (ب) صحت‌سنجی

جدول (۴): عملکرد مدل IHACRES در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی

MAE	RMSE	R^2	
۰/۱	۰/۲۴	۰/۸	واسنجی (۱۹۸۶-۱۹۹۵)
۰/۹	۰/۶۱	۰/۷	صحت‌سنجی (۱۹۹۶-۲۰۰۰)

علیرغم اینکه منحنی‌های دوره‌های واسنجی و صحت سنجی نسبت به دوره مشاهداتی از روند یکسانی تبعیت می‌کنند با این وجود اختلاف زیادی که در سال‌هایی بین دبی‌های پیک به وجود آمده است که یکی از دلایل آن می‌تواند ناشی از ذوب برف باشد که در دوره مشاهداتی وجود دارد ولی این ذوب برف در مدل IHACRES به تخمین مناسب نبوده است. همچنین ضریب تعیین R^2 در جدول ۴ نشان می‌دهد که این اختلاف در این ضریب نیز تأثیر داشته است و بین ۰٫۷ تا ۰٫۸ شده است. هر چه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده خطای کمتر بین



شکل (۱۰): نتایج رواناب شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی (الف) ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و (ب) ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به رواناب مشاهداتی در دوره پایه

پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۷/۹۹٪، ۱۸/۷۸٪، ۴۶/۷۸٪ و ۲۰/۵۳٪ و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۰/۹۶٪، ۳۲/۳۵٪، ۵۵/۵٪ و ۳۲/۶۷٪ می‌باشند. در این میان برای فقط در فصل‌های زمستان سناریوی RCP2.6 هر دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۰ افزایش رواناب نشان داده شده است و در دیگر فصول دو دوره تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 کاهش رواناب نسبت به دوره پایه ملاحظه می‌شود. همچنین بیشترین تغییرات رواناب در هر دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۰ تحت هر دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به فصل بهار و کمترین تغییرات رواناب در هر دو دوره تحت هر دو سناریو مربوط به فصل زمستان است.

همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود به‌طور کلی شاهد کاهش رواناب به میزان ۱۰/۰ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۲۰/۱۲ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه و همچنین به میزان ۱۲/۹ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۲۴/۱ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه خواهیم بود. این تغییرات رواناب در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۶/۵٪، ۱۵/۴٪، ۳۵/۶٪ و ۱۶/۵٪ و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۰/۸۵٪، ۲۹/۳٪، ۴۸/۵٪ و ۲۸٪ می‌باشند. همچنین این تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دارای کمترین مقدار در شاخص‌های خطای $RMSE$ ، R^2 و MAE بود، به‌عنوان مدل قابل‌قبول انتخاب شد. برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب حوضه آبریز کرخه و بهره‌برداری از مخزن سد کرخه در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-

در این تحقیق خروجی‌های مدل‌های GCM تحت سناریوهای CMIP5 برای دوره‌های آتی استخراج گردیدند و با مقایسه میزان خطاهای بین مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی بارش و دمای حوضه، مدل MRI-CGCM3 که

نتایج شبیه‌سازی رواناب با مدل IHACRES در دوره‌های آتی به‌طور کلی شاهد کاهش رواناب به میزان ۱۰ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۲۰/۱ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه و همچنین به میزان ۱۲/۹ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۲۴/۱ درصد تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه خواهد بود. در انتها باید به این نکته اساسی اشاره کرد که همانند تمامی محاسبات مربوط به تغییر اقلیم، محاسبات فوق همراه با درصدی از عدم قطعیت خواهند بود که این عدم قطعیت به دلایل متعدد از جمله مدل‌های بکار رفته، انتخاب ضرایب در مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب و درست بودن داده‌های مشاهداتی می‌باشند و نیاز به ادامه تحقیق برای تدقیق نتایج است.

۲۰۴۰ و ۲۰۶۰-۲۰۴۰) از خروجی‌های مدل فوق تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 استفاده گردید. با ریزمقیاس سازی داده‌های بارش مدل MRI-CGCM3 به روش تغییر فاکتور، حوضه آبریز این سد در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ کاهش بارش به میزان ۲/۸ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۶/۸ درصد تحت سناریوی RCP8.5 (متوسط کاهش ۴/۸ درصد) و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ به میزان ۳/۱ درصد تحت سناریوی RCP2.6 و ۸/۲ درصد تحت سناریوی RCP8.5 (متوسط ۵/۶ درصد) نسبت به دوره پایه خواهد بود. همچنین حوضه آبریز در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ دارای افزایش دما به میزان یک درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP 2.6 و ۱/۵ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP 8.5، و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ همچنین به میزان ۱/۲ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP 2.6 و ۱/۸ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP 8.5 نسبت به دوره پایه خواهد بود.

سپاسگزاری

از شرکت مدیریت منابع آب ایران که برای در اختیار گذاردن داده‌های این تحقیق نهایت همکاری را داشتند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- ۱- نوری، ن. مساح بوانی، ع. ۱۳۹۶. "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی فرمان بهره‌برداری سدها مطالعه موردی سد دز"، مجله تحقیقات آب. دوره ۱۳، شماره ۲.
- ۲- Abushandi, E. and Merkel, B., (2013), Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan. *Water Resources Management*, 27(7), pp.2391-2409.
- ۳- Anandhi, A. Frei, A. Pierson, D.C. Schneiderman, E.M. Zion, M.S. Lounsbury, D. and Matonse, A.H., (2011), Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment. *Water Resources Research*, 47(3).
- ۴- Ashraf Vaghefi, S., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R. and Yang, H., (2014), Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *hydrological processes*, 28(4), pp.2018-2032.
- ۵- Ashofteh PS, Bozorg Haddad O, Mariño MA, (2013), Climate change impact on reservoir performance indexes in agricultural water supply. *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 139(2):85-97
- ۶- Carcano, E.C., Bartolini, P., Muselli, M. and Piroddi, L., (2008), Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *Journal of hydrology*, 362(3-4), pp.291-307.
- ۷- Croke, B.F., Andrews, F., Jakeman, A.J., Cuddy, S. and Luddy, A., (2005), Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model. In *proceedings of the 29th Hydrology and Water Resources Symposium, Engineers Australia*.
- ۸- Feng S, Hu Q, Huang W, Ho CH, Li R, Tang Z, (2014), Projected climate regime shift under future global warming from multi-model, multi-scenario CMIP5 simulations. *Global and Planetary Change* 112:41-52
- ۹- Hadi Pour S, Harun SB, Shahid Sh, (2014), Genetic programming for the downscaling of extreme rainfall events on the east coast of peninsular Malaysia. *Atmosphere* 5:914-936
- ۱۰- Hashmi MZ, Shamseldin AY, Melville BW, (2009), Statistical downscaling of precipitation: state-of-the-art and application of bayesian multi-model approach for uncertainty assessment. - *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 6(5):6535-6579
- ۱۱- Hashmi MZ, Shamseldin AY, Melville BW, (2011), Comparison of SDSM and LARS-

- 21- Nasseri, M., Zahraie, B. and Forouhar, L., (2017), A comparison between direct and indirect frameworks to evaluate impacts of climate change on streamflows: case study of Karkheh River basin in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 8(4), pp.652-674.
- 22- O'Neill, B.C., Oppenheimer, M., Warren, R., Hallegatte, S., Kopp, R.E., Pörtner, H.O., Scholes, R., Birkmann, J., Foden, W., Licker, R. and Mach, K.J., (2017), "IPCC reasons for concern regarding climate change risks". *Nature Climate Change*, 7(1), p.28.
- 23- Su, B., Huang, J., Gemmer, M., Jian, D., Tao, H., Jiang, T., Zhao, C., (2016) Statistical downscaling of CMIP5 multi-model ensemble for projected changes of climate in the Indus River Basin. *Atmospheric Research* 178:138-149
- 24- Sun, G. and Peng, F., (2019), Evaluation of future runoff variations in north-south transect of eastern China: effects of CMIP5 models outputs uncertainty. *Journal of Water and Climate Change*.
- 25- SPSS manual, (2004), Dataset development.
- 26- Yao, F., Qin, P., Zhang, J., Lin, E. and Boken, V., (2011), Uncertainties in assessing the effect of climate change on agriculture using model simulation and uncertainty processing methods. *Chinese Science Bulletin*, 56(8), pp.729-737.
- 27- Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Acharya, K., Wang, W., Yu, Z., (2012), Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their future scenarios in an elevated and cold zone. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 26(3):405-418
- 28- World Meteorology Organization(WMO), 2019 , <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-past-4-years-were-warmest-record>
- 29- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B.J., Seneviratne, S.I., Ward, P.J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D.N., Leonard, M., Wahl, T. and Zhang, X., (2018), Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), p.469.
- WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 25(4):475-484
- 12- IPCC., (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*"
- 13- IPCC, (2013), What is a GCM?, data distribution center. Available from:
http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html.
- 14- Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resources Research*, 29: 2637-2649.
- 15- Jamali, S., Abrishamchi, A., Marino, M.A. and Abbasnia, A., (2013), February. Climate change impact assessment on hydrology of Karkheh Basin, Iran. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 166, No. 2, pp. 93-104). Thomas Telford Ltd.
- 16- Kheirfam, H., Mostafazadeh, R. and Sadeghi, S.H.R., (2013), Daily Discharge Prediction by Using IHACRES Model in Some Watersheds of Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 4(7), pp.114-126.
- 17- Mendes D, Marengo JA, (2010), Temporal downscaling: a comparison between artificial neural network and autocorrelation techniques over the Amazon Basin in present and future climate change scenarios. *Theoretical and Applied Climatology* 100(3-4):413-421
- 18- Hindecha Y, Bárdossy, A.,(2008), Statistical downscaling of extremes of daily precipitation and temperature and construction of their future scenarios. *International Journal of Climatology* 28(5):589-610
- 19- Motiee, H., McBean, E., Motiee, A. and MohamadReza, M.T., (2019), Assessment of Climate Change Under CMIP5-RCP Scenarios on Downstream Rivers-Glaciers-Sardabrud River of Alam-Kuh Glacier, Iran. *International Journal of River Basin Management*, pp.1-27.
- 20- NASA, 2019. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145392/warm-weather-brings-major-melting-to-greenland>

Impact of Climate Change on Kharkheh Basin and Reservoir Dam Inflow with Using CMIP5-RCP Scenarios

Homayoun Motiee*¹

Fatemeh Shirkhodaei²

AmirReza Motiee³

Abstract

The objective of this paper is to investigate the impacts of climate change on Karkheh Basin and inflow to Karkheh dam reservoir. This was conducted by applying GCM models under CMIP5 scenarios. The error indices of R2, RMSE and MAE models with the observed precipitation and temperature data were examined to find the appropriate GCM model, MRI-CGCM3. The outputs of this model under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios were used to predict precipitation and temperature in future periods (2020-2040 and 2040-2060). With change factor downscaling of MRI-CGCM3 outputs, the precipitation decrease and temperature rise was 2.8% and 1°C under the RCP scenario of 2.6, 6.8% and 1.5°C under the RCP8 scenario, respectively in the period of 2020-2040. IHACRES model was used to study the effect of climate change on basin runoff and inflow to Karkheh Dam reservoir. Runoff simulation results show that overall runoff reduction is 10.2% under RCP2.6 and 20.1% under RCP8.5 scenarios in 2020-2040 compared to baseline period. These results indicate the inappropriate future situation of Karkheh Dam reservoir, which will have an impact on the water supply required for agriculture and electricity of the region.

Keywords:

Climate change, GCM models, CMIP5-RCP Scenarios, Rainfall-Runoff model, Kharkheh Basin

1. Corresponding author, associate Professor, Civil, Water and Environmental Faculty, University of Beheshti

² . Graduated Ms.C., Science Researched Unit, Islamic Azad university

³ . Graduated Ms.C. , Civil, Water and Environmental Faculty, University of Beheshti